

## Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) - Amandemen 3

(IEC 60364-5-54:2011, MOD)





© ISO 2011 – All rights reserved

© BSN 2014 untuk kepentingan adopsi standar ISO menjadi SNI – Semua hak dilindungi

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis BSN

**BSN**  
Gd. Manggala Wanabakti  
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.  
Telp. +6221-5747043  
Fax. +6221-5747045  
Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)  
[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	iii
541 Umum .....	1
542 Susunan pembumian.....	2
543 Konduktor proteksi.....	9
544 Konduktor ikatan proteksi .....	13
Lampiran A(normatif) Metode untuk mendapatkan faktor k dalam 543.1.2 (lihat juga IEC 60724 dan IEC 60949) .....	15
Lampiran B (informatif) Contoh susunan pembumian dan konduktor proteksi.....	19
Lampiran C (informatif) Pemasangan elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton .....	21
Lampiran D (informatif) Pemasangan elektrode bumi dipendam dalam tanah .....	24
Lampiran E (MOD) (informatif) Tidak diadopsi. ....	28
Bibliografi .....	29
Tabel 54.1 – Ukuran minimum elektrode bumi yang biasa digunakan, dipendam dalam tanah atau beton yang digunakan untuk mencegah korosi dan memberikan kuat mekanis.....	4
Tabel 54.2 MOD – Resistans jenis tanah (tipikal).....	6
Tabel 54.3 MOD – Resistans pembumian pada resistans jenis $\rho_1 = 100 \Omega \cdot \text{meter}$ .....	7
Tabel 54.4 MOD – Luas penampang minimum konduktor proteksi (jika tidak dihitung sesuai dengan 543.1.2) .....	10
Tabel A.54.1 – Nilai parameter untuk berbagai bahan yang berbeda .....	15
Tabel A.54.2 – Nilai $k$ untuk konduktor proteksi berinsulasi yang tidak tergabung dengan kabel-kabel dan tidak dibundel dengan kabel-kabel lain .....	16
Tabel A.54.3 – Nilai $k$ untuk konduktor proteksi telanjang yang kontak dengan penutup kabel tetapi tidak dibundel dengan kabel lain .....	16
Tabel A.54.4 – Nilai $k$ untuk konduktor proteksi sebagai inti yang tergabung dengan suatu kabel atau dibundel dengan kabel-kabel lain atau konduktor-konduktor berinsulasi.....	17
Tabel A.54.5 – Nilai $k$ untuk konduktor proteksi sebagai lapisan logam suatu kabel misalnya armor, selubung logam, konduktor konsentris dsb.....	18
Tabel A.54.6 – Nilai $k$ untuk konduktor telanjang tanpa risiko kerusakan pada sembarang bahan di dekatnya dengan suhu yang ditunjukkan.....	18
Tabel D.54.1 – Resistivitas untuk jenis tanah.....	25
Tabel D.54.2 – Variasi resistivitas untuk jenis tanah berbeda .....	25



Gambar 542.1 MOD - Cara pemasangan elektrode pita .....	6
Gambar B.54.1 – Contoh susunan pembumian untuk elektrode bumi fondasi, konduktor proteksi dan konduktor ikatan proteksi .....	20





## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) - Amandemen 3”, diadopsi secara modifikasi (MOD) dari standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 60364-5-54 Edition 3.0 (2011-03), berjudul “*Low-voltage electrical installations – Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment – Earthing arrangements and protective conductors*”, yang mengamandemen Bagian 5-54 dari SNI 0225:2011 Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011).

Standar ini membatalkan dan menggantikan Bagian dari SNI 0225:2011 Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011).

Standar ini disusun oleh Panitia Teknis 91-03, Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) melalui prosedur perumusan standar dan dibahas dalam Forum Konsensus tanggal 8 Oktober 2013 di Jakarta, serta telah melalui tahap Jajak Pendapat tanggal 17 Februari 2014 sampai dengan 16 April 2014

Bila ada keraguan mengenai terjemahan standar ini, maka agar mengacu pada naskah aslinya dalam bahasa Inggris, kecuali modifikasi.

Dalam rangka mempertahankan mutu ketersediaan standar yang tetap mengikuti perkembangan, maka diharapkan masyarakat standardisasi ketenagalistrikan memberikan saran dan usul demi kesempurnaan standar ini di kemudian hari.



**Persyaratan Umum Instalasi Listrik –  
Bagian 5-54: Pemilihan dan pemasangan perlengkapan listrik –  
Susunan pembumian dan konduktor proteksi**

**CATATAN** Bagian 5-54 merupakan adopsi dari IEC 60364-5-54:2011 dengan modifikasi. Modifikasi dapat berupa penambahan, perubahan atau pengurangan. Ayat, subayat, tabel, catatan atau lampiran yang merupakan modifikasi diberi tanda MOD.

Untuk memudahkan penelusuran, maka nomor ayat atau subayat PUIL 2011 disertakan dalam tanda kurung.

## **541 Umum**

### **541.1 Ruang lingkup**

Bagian 5-54 menunjukkan susunan pembumian dan konduktor proteksi, termasuk konduktor ikatan proteksi guna memenuhi keselamatan instalasi listrik.

### **541.2 MOD Acuan normatif**

Dokumen acuan berikut sangat diperlukan untuk penerapan dokumen ini. Untuk acuan bertahun, hanya berlaku edisi yang disebutkan. Untuk acuan tak bertahun, berlaku dokumen acuan edisi mutakhir (termasuk setiap amandemen).

IEC 61439-1, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules*

IEC 61439-2, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies*

IEC 61439-6: *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 6: Busbar trunking systems (busways)*

IEC 60724, *Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages of 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) and 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)*

IEC 60909-0, *Short-circuit currents in three-phase a.c. systems – Part 0: Calculation of currents*

IEC 60949, *Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects*

IEC 61140:2001, *Protection against electric shock – Common aspects for installation and equipment*

IEC 61534-1, *Powertrack systems – Part 1: General requirements*

IEC 62305 (all parts), *Protection against lightning*

IEC 62305 -3:2006, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazards*



**541.3 MOD Istilah dan definisi**

Untuk keperluan Bagian 5-54 ini, berlaku istilah dan definisi dalam IEC 61140, definisi Bagian 1, bersama dengan definisi berikut.

Definisi yang digunakan untuk susunan pembumian, konduktor proteksi dan konduktor ikatan proteksi digambarkan dalam Lampiran B dan dinyatakan di bawah ini:

**541.3.4****elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton**

elektrode bumi yang dipendam dalam beton fondasi bangunan, biasanya dalam bentuk lingkaran tertutup

[IEC 60050-826:2004, IEV 826-13-08, modifikasi]

**541.3.5****elektode bumi fondasi dipendam dalam tanah**

elektode bumi dipendam dalam tanah di bawah fondasi gedung, biasanya dalam bentuk lingkaran tertutup

[IEC 60050-826:2004, IEV 826-13-08, modifikasi]

**541.3.6****konduktor proteksi (identifikasi: PE)**

konduktor yang disediakan untuk keperluan keselamatan, misalnya proteksi terhadap kejutan listrik

[IEC 60050-826:2004, IEV 826-13-22]

**CATATAN** Contoh konduktor proteksi mencakup konduktor ikatan proteksi, konduktor pembumian proteksi dan konduktor pembumian bila digunakan untuk proteksi terhadap kejutan listrik.

**541.3.9****terminal pembumian utama**

busbar pembumian utama

terminal atau busbar yang merupakan bagian susunan pembumian suatu instalasi dan memungkinkan hubungan listrik sejumlah konduktor untuk keperluan pembumian

[IEC 60050-826:2004, IEV 826-13-15]

**542 (3.18) Susunan pembumian****542.1 (3.18.1) Persyaratan umum**

**542.1.1 (3.18.1.1)** Susunan pembumian dapat digunakan tersambung atau terpisah untuk keperluan proteksi dan fungsional menurut persyaratan instalasi listrik. Persyaratan untuk keperluan proteksi harus selalu lebih diutamakan.

**542.1.2 MOD (3.18.1.2)** Elektrode bumi pada instalasi harus dihubungkan pada terminal pembumian utama dengan menggunakan konduktor pembumian.

Elektrode bumi ialah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi (lihat 542.2.3).



Konduktor pembumian yang tidak berinsulasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian elektrode bumi.

**542.1.3** Bila suplai ke instalasi adalah pada voltase tinggi, persyaratan berkaitan dengan susunan pembumian suplai voltase tinggi dan instalasi voltase rendah harus juga memenuhi Ayat 442 Bagian 4-44.

**542.1.4 (3.18.1.4)** Persyaratan untuk susunan pembumian dimaksudkan untuk memberikan hubungan ke bumi:

- yang handal dan sesuai untuk persyaratan proteksi instalasi;
- yang dapat menghantarkan arus gangguan bumi dan arus konduktor proteksi ke bumi tanpa bahaya dari stres termal, termomekanis dan elektromekanis serta dari kejut listrik yang timbul dari arus ini;
- jika relevan, yang juga sesuai untuk persyaratan fungsional;
- cocok untuk dapat memperkirakan pengaruh eksternal (lihat Bagian 5-51), misal stres mekanis dan korosi.

**542.1.5** Pertimbangan harus diberikan untuk susunan pembumian dimana arus dengan frekuensi tinggi diperkirakan akan mengalir (lihat Ayat 444 Bagian 4-44).

**542.1.6** Proteksi terhadap kejut listrik, sebagaimana dinyatakan dalam Bagian 4-41, tidak boleh dipengaruhi secara merugikan oleh sembarang perubahan resistans elektrode bumi yang diperkirakan (misalnya akibat korosi, pengeringan atau pembekuan).

## **542.2 (3.18.2) Elektrode bumi**

**542.2.1** Jenis, bahan dan dimensi elektrode bumi harus dipilih untuk tahan terhadap korosi dan untuk mempunyai kuat mekanis yang memadai pada umur yang dimaksudkan.

**CATATAN 1** Untuk korosi, parameter berikut dapat dipertimbangkan: pH tanah di lokasi, resistivitas tanah, kelembapan tanah, arus a.b. dan a.s bocor dan sasar, kontaminasi kimia dan kedekatan dengan bahan yang berlainan.

Untuk bahan yang biasa digunakan untuk elektrode bumi, ukuran minimum biasa dari sudut pandang korosi dan kuat mekanis untuk elektrode bumi ketika ditanam dalam tanah diberikan dalam Tabel 54.1

**CATATAN 2** Ketebalan minimum pelapisan proteksi lebih besar untuk elektrode vertikal dibanding untuk elektrode bumi horisontal, karena lebih besarnya paparan pada stres mekanis pada saat ditanam.

Jika disyaratkan sistem proteksi petir (SPP), berlaku 5.4 IEC 62305-3:2006.



**Tabel 54.1 – Ukuran minimum elektrode bumi yang biasa digunakan, dipendam dalam tanah atau beton yang digunakan untuk mencegah korosi dan memberikan kuat mekanis**

Bahan dan permukaan	Bentuk	Diameter mm	Luas penampang mm <sup>2</sup>	Tebal mm	Berat lapisan g/m <sup>2</sup>	Tebal lapisan/ selubung µm
Baja dipendam dalam beton (telanjang, galvanis panas atau tahan karat)	Kawat bundar	10				
	Pita atau bilah padat		75	3		
Baja galvanis celup panas	Bilah <sup>b</sup> atau bilah/pelat sektor – Pelat padat – Pelat kekisi		90	3	500	63
	Batang bundar dipasang vertikal	16			350	45
	Kawat bundar dipasang horizontal	10			350	45
	Pipa	25		2	350	45
	Pilin (dipendam dalam beton)		70			
	Profil salib dipasang vertikal		(290)	3		
Baja berselubung tembaga	Batang bundar dipasang vertikal	(15)				2 000
Baja dengan lapisan tembaga sepuh listrik	Batang bundar dipasang vertikal	14				250 <sup>e</sup>
	Batang bundar dipasang horizontal	(8)				70
	Bilah dipasang horizontal		90	3		70
Baja tahan karat <sup>a</sup>	Bilah <sup>b</sup> atau bilah/pelat sektor		90	3		
	Batang bundar dipasang vertikal	16				
	Batang bundar dipasang horizontal	10				
	Pipa	25		2		
Tembaga	Bilah		50	2		
	Kawat bundar dipasang horizontal		(25) <sup>d</sup> 50			
	Batang bundar padat dipasang vertikal	(12) 15				
	Kawat pilin	1,7 untuk pilinan individu kawat	(25) <sup>d</sup> 50			
	Pipa	20		2		
	Pelat padat			(1,5) 2		
	Pelat kekisi			2		

**CATATAN** Nilai dalam kurung hanya dapat diterapkan untuk proteksi terhadap kejut listrik, sedang nilai tidak dalam kurung dapat diterapkan untuk proteksi petir dan untuk proteksi terhadap kejut listrik.

<sup>a</sup> Kromium ≥ 16 %, Nikel ≥ 5 %, Molibdenum ≥ 2 %, Karbon ≤ 0,08 %.

<sup>b</sup> Sebagai bilah dirol atau bilah belah dengan tepi dibundarkan.

<sup>c</sup> Lapisan harus halus, kontinu dan bebas dari noda aliran air.

<sup>d</sup> Jika pengalaman menunjukkan bahwa risiko korosi dan kerusakan mekanis sangat rendah, dapat digunakan 16 mm<sup>2</sup>.

<sup>e</sup> Tebal ini diberikan untuk tahan terhadap kerusakan mekanis lapisan tembaga selama proses pemasangan. Tebal dapat dikurangi menjadi tidak kurang dari 100 µm jika tidak ada pencegahan khusus untuk menghindari kerusakan mekanis tembaga selama proses pemasangan (misalnya lubang bor atau ujung proteksi khusus) digunakan menurut petunjuk pabrikan.

**CATATAN 1 MOD** Jika terdapat sistem proteksi petir (SPP), berlaku seri IEC 62305.

**CATATAN 2 MOD** Untuk elektrode bumi jenis pipa, panjang minimum 1,5 m.

**CATATAN 3 MOD (3.18.2.3.2)** Jika keadaan tanah sangat korosif atau jika digunakan elektrode baja nongalvanis, dianjurkan untuk menggunakan luas penampang atau tebal sekurang-kurangnya 150 % dari yang tertera dalam Tabel 54.1.



**CATATAN 4 MOD (3.18.2.3.3)** Jika elektrode pita hanya digunakan untuk mengatur gradien voltase, luas penampang minimum pada baja galvanis atau berlapis tembaga harus 16 mm<sup>2</sup> dan pada tembaga 10 mm<sup>2</sup>.

**542.2.2** Keefektifan setiap elektrode bumi tergantung pada konfigurasinya dan kondisi tanah lokal. Harus dipilih satu atau lebih elektrode bumi yang sesuai dengan kondisi tanah dan nilai resistans ke bumi yang disyaratkan.

Lampiran D memberikan metode estimasi resistans elektrode bumi.

**542.2.3** Berikut adalah contoh elektrode bumi yang dapat digunakan:

- elektrode bumi fondasi ditanam dalam beton;

**CATATAN** Untuk informasi lebih lanjut lihat Lampiran C.

- elektrode bumi fondasi ditanam dalam tanah;
- elektrode logam ditanam langsung dalam tanah vertikal atau horizontal (misalnya batang, kawat, pita, pipa atau pelat);
- selubung logam dan penutup logam lain dari kabel menurut kondisi atau persyaratan lokal;
- rangka logam bawah tanah yang sesuai lainnya (misalnya pipa) menurut kondisi atau persyaratan lokal.
- tulangan logam beton yang dilas (kecuali beton prastres) yang ditanam dalam bumi.

**CATATAN MOD** Jaringan pipa air dilarang digunakan sebagai elektrode bumi.

**542.2.4** Ketika memilih jenis dan kedalaman tanam elektrode bumi, harus dipertimbangkan kerusakan mekanis yang mungkin dan kondisi lokal untuk meminimalkan efek pengeringan dan pembekuan tanah.

**542.2.5** Harus dipertimbangkan korosi elektrolitik jika menggunakan bahan berbeda dalam susunan pembumian. Untuk konduktor eksternal (misalnya konduktor pembumian) yang dihubungkan ke elektrode bumi fondasi di tanam dalam beton, hubungan yang dibuat dari baja galvanis celup panas tidak boleh ditanam dalam tanah.

**542.2.6** Susunan pembumian tidak boleh mengandalkan pada pipa logam untuk cairan atau gas mudah terbakar sebagai elektrode bumi dan panjang dipendamnya tidak boleh dipertimbangkan ketika mendimensi elektrode bumi.

**CATATAN** Persyaratan ini tidak menghalangi ikatan ekuipotensial proteksi via terminal pembumian utama (541.3.8) pipa tersebut untuk kesesuaian dengan Bagian 4-41.

Jika proteksi katodik diterapkan dan BKT suatu item perlengkapan listrik yang disuplai oleh sistem TT langsung dihubungkan ke pipa, pipa logam atau cairan atau gas mudah terbakar dapat bertindak sebagai elektrode bumi tunggal untuk perlengkapan spesifik ini.

**542.2.7** Elektrode bumi tidak boleh langsung direndam dalam air sungai, kolam, danau atau sejenisnya (lihat juga 542.1.6).

**542.2.8** Jika elektrode bumi terdiri atas bagian yang harus dihubungkan bersama, hubungan harus oleh las eksotermik, konektor tekan, klem atau konektor mekanis yang sesuai lainnya.

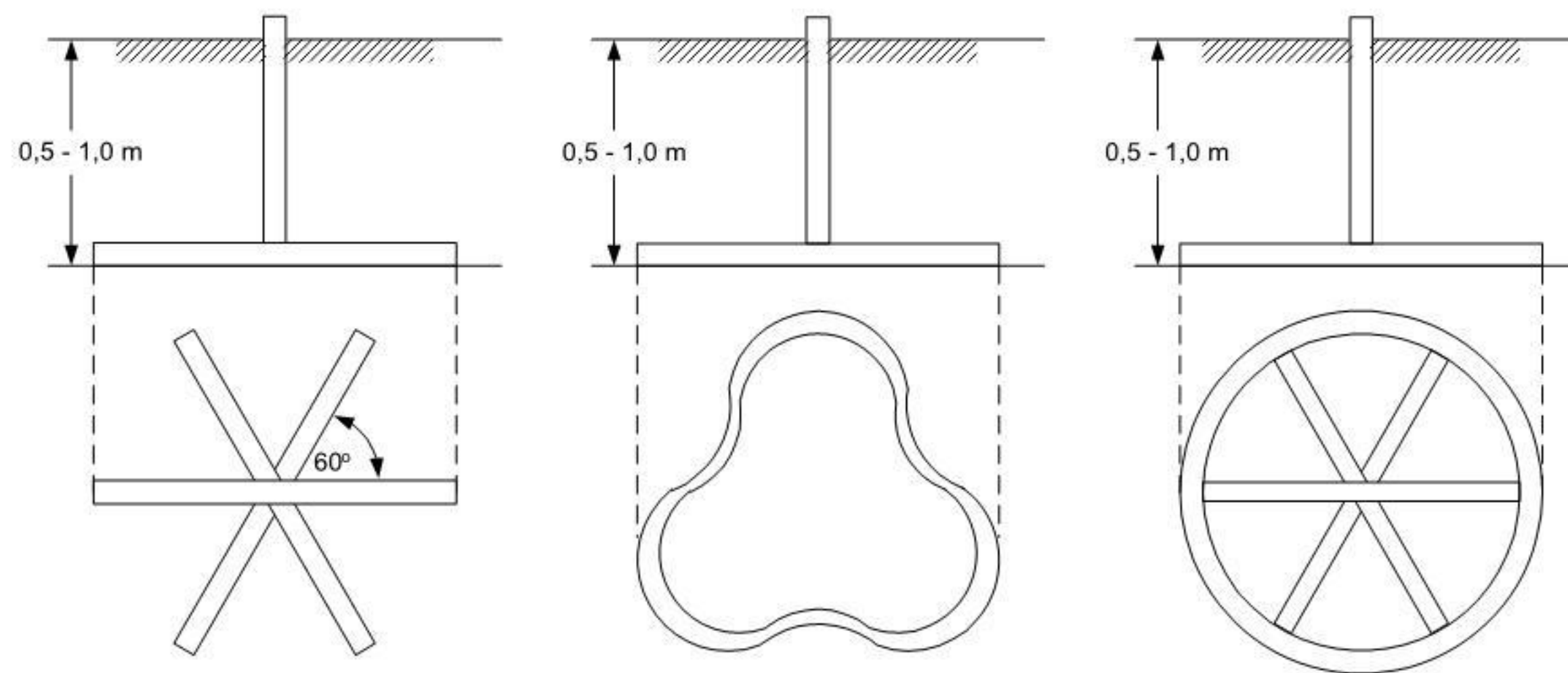
**CATATAN** Hubungan yang dibuat oleh kawat besi lilit hanya cocok untuk keperluan proteksi.



**542.2.9 MOD (3.18.2.2) Jenis elektrode bumi**

**542.2.9.1 MOD (3.18.2.2.1)** Elektrode pita ialah elektrode yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat yang pada umumnya ditanam secara dangkal.

Elektrode ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada Gambar 54.1, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5 – 1,0 m.



**Gambar 54.1 MOD - Cara pemasangan elektrode pita**

**542.2.9.2 MOD (3.18.2.2.2)** Elektrode batang ialah elektrode dari baja pipa, baja profil, atau batang logam lain yang dipancangkan ke dalam tanah.

**542.2.9.3 MOD (3.18.2.2.3)** Elektrode pelat ialah elektrode dari bahan logam utuh atau berlubang. Pada umumnya elektrode pelat ditanam secara dalam.

**542.2.10 MOD (3.18.2.5) Resistans jenis tanah dan resistans pembumian**

**542.2.10.1 MOD (3.18.2.5.1)** Nilai resistans jenis tanah sangat berbeda-beda bergantung pada jenis tanah seperti ditunjukkan pada Tabel 54.2.

**Tabel 54.2 MOD – Resistans jenis tanah (tipikal)**

1	2	3	4	5	6	7
Jenis tanah	Tanah rawa	Tanah liat & tanah ladang	Pasir basah	Kerikil basah	Pasir dan Kerikil kering	Tanah berbatu
Resistans jenis ( $\Omega$ -m)	30	100	200	500	1000	3000

**542.2.10.2 MOD (3.18.2.5.2) Resistans pembumian**

- Resistans pembumian elektrode bumi tergantung pada jenis dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektrode.
- Resistans pembumian suatu elektrode harus dapat diukur. Untuk keperluan tersebut konduktor yang menghubungkan setiap elektrode bumi atau susunan elektrode bumi harus dilengkapi dengan hubungan yang dapat dilepas (lihat 54.3).

**CATATAN** Resistans pembumian total suatu instalasi pembumian belum dapat ditentukan dari hasil pengukuran tiap elektrode. Cara mengukur resistans elektrode bumi lihat Lampiran B Bagian 6.

- Tabel 54.3 menunjukkan nilai rerata resistans elektrode bumi untuk ukuran minimum elektrode bumi seperti pada Tabel 54.1.



Tabel 54.3 MOD – Resistans pembumian pada resistans jenis  $\rho_1 = 100 \Omega \cdot \text{meter}$ 

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jenis elektrode	Pita atau konduktor pilin				Batang atau pipa				Pelat vertikal dengan sisi atas $\pm 1 \text{ m}$ di bawah permukaan tanah	
	Panjang (m)				Panjang (m)				Ukuran ( $\text{m}^2$ )	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5x1	1x1
Resistans Pembumian ( $\Omega$ )	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

**Keterangan :**

Untuk resistans jenis yang lain ( $\rho$ ), maka besar resistans pembumian adalah perkalian nilai di atas dengan.

$$\rho/\rho_1 \text{ atau } \rho/100$$

**542.2.11 MOD (3.18.2.6) Pemasangan dan susunan elektrode bumi**

**542.2.11.1 MOD (3.18.2.6.1)** Untuk memilih macam elektrode bumi yang akan dipakai, harus diperhatikan terlebih dahulu kondisi lokal, sifat tanah, dan resistans pembumian yang diperkenankan.

**542.2.11.2 MOD (3.18.2.6.2)** Permukaan elektrode bumi harus berhubungan baik dengan tanah sekitarnya. Batu dan kerikil yang langsung mengenai elektrode bumi memperbesar resistans pembumian.

**542.2.11.3 MOD (3.18.2.6.3)** Jika keadaan tanah mengizinkan, elektrode pita harus ditanam sedalam 0,5 sampai 1 meter.

Pengaruh kelembaban lapisan tanah terhadap resistans pembumian agar diperhatikan. Panjang elektrode bumi agar disesuaikan dengan resistans pembumian yang dibutuhkan. Resistans pembumian elektrode pita sebagian besar tergantung pada panjang elektrode tersebut dan sedikit tergantung pada luas penampangnya.

**CATATAN:**

- Nilai pada Tabel 54.3 adalah untuk elektrode terpasang lurus yang menghasilkan resistans pembumian terkecil. Cara lain misalnya terpasang zig-zag atau menggelombang, menghasilkan resistans pembumian yang lebih besar untuk panjang elektrode bumi yang sama.
- Elektrode pita radial harus disusun simetris. Sudut antara jari-jarinya tidak perlu kurang dari  $60^\circ$ . Susunan lebih dari enam jari-jari pada umumnya tidak mengurangi resistans pembumian secara berarti, karena pengaruh timbal balik dari jari-jari yang berdekatan.

**542.2.11.4 MOD (3.18.2.6.4)** Elektrode batang dimasukkan tegak lurus ke dalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan resistans pembumian yang diperlukan (lihat Tabel 54.3).

Resistans pembumian sebagian besar tergantung pada panjangnya dan sedikit bergantung pada ukuran penampangnya. Jika beberapa elektrode diperlukan untuk memperoleh



resistans pembumian yang rendah, jarak antara elektrode tersebut minimum harus dua kali panjangnya. Jika elektrode tersebut tidak bekerja efektif pada seluruh panjangnya, maka jarak minimum antara elektrode harus dua kali panjang efektifnya.

**542.2.11.5 MOD (3.18.2.6.5)** Elektrode pelat ditanam tegak lurus dalam tanah; ukurannya disesuaikan dengan resistans pembumian yang diperlukan (lihat Tabel 54.3) dan pada umumnya cukup menggunakan pelat berukuran 1 m  $\times$  0,5 m. Sisi atas pelat harus terletak minimum 1 m di bawah permukaan tanah. Jika diperlukan beberapa pelat logam untuk memperoleh resistans pembumian yang lebih rendah, maka jarak antara pelat logam, jika dipasang paralel, dianjurkan minimum 3 meter.

**CATATAN** Untuk memperoleh resistans pembumian yang sama, elektrode pelat memerlukan bahan yang lebih banyak jika dibandingkan dengan elektrode pita atau batang.

### 542.3 Konduktor pembumian

**542.3.1** Konduktor pembumian harus memenuhi 543.1 atau 543.2. Luas penampangnya tidak boleh kurang dari 6 mm<sup>2</sup> untuk tembaga atau 50 mm<sup>2</sup> untuk baja. Jika konduktor pembumian telanjang dipendam dalam tanah, dimensi dan karakteristiknya juga harus sesuai dengan Tabel 54.1.

Jika tidak tampak adanya arus gangguan yang diperkirakan mengalir melalui elektrode bumi (misalnya pada sistem TN atau TT), konduktor pembumian dapat didimensi menurut 544.1.

Konduktor aluminium tidak boleh digunakan sebagai konduktor pembumian.

**CATATAN** Jika sistem proteksi petir dihubungkan ke elektrode bumi, luas penampang konduktor pembumian sebaiknya sedikitnya 16 mm<sup>2</sup> untuk tembaga atau 50 mm<sup>2</sup> untuk besi (Fe) (lihat seri IEC 62305).

**542.3.2** Hubungan konduktor pembumian ke elektrode bumi harus dibuat dengan kuat dan secara listrik memuaskan. Hubungan harus dengan las eksotermik, konektor tekan, klem, atau konektor mekanis lain yang sesuai. Konektor mekanis harus dipasang sesuai dengan petunjuk pabrikan. Jika digunakan klem, tidak boleh merusak elektrode atau konduktor pembumian.

Gawai hubung atau fitting yang hanya tergantung pada solder tidak boleh digunakan secara independen, karena tidak memberikan secara andal kuat mekanis yang memadai.

**CATATAN 1 MOD** Klem pada elektrode pipa harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10 mm.

**CATATAN 2** Jika dipasang elektrode vertikal, sarana dapat diberikan untuk memungkinkan inspeksi hubungan dan penggantian batang vertikal.

**542.3.3 MOD (3.18.3.3)** Konduktor pembumian harus dilindungi jika menembus plafon atau dinding, atau berada di tempat dengan bahaya kerusakan mekanis.

**542.3.4 MOD (3.18.3.4)** Konduktor pembumian harus diberi warna hijau-kuning sesuai dengan 5210.2.

**542.3.5 MOD (3.18.3.5)** Pada konduktor pembumian harus dipasang hubungan yang dapat dilepas untuk keperluan pengujian resistans pembumian, pada tempat yang mudah dicapai, dan sedapat mungkin memanfaatkan hubungan yang karena susunan instalasinya memang harus ada.



**542.3.6 MOD (3.18.3.6)** Hubungan dalam tanah harus dilindungi terhadap korosi.

**542.3.7 MOD (3.18.3.7)** Konduktor pembumian di atas tanah harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a) Mudah terlihat dan jika tertutup harus mudah dicapai;
- b) Harus dilindungi dari bahaya mekanis atau kimiawi;
- c) Tidak boleh ada sakelar atau hubungan yang mudah di lepas tanpa menggunakan perkakas;
- d) Konduktor pembumian untuk kapasitor peredam interferens radio harus diinsulasi sama seperti konduktor fase dan harus dipasang dengan cara yang sama pula, jika arus yang dialirkan melebihi 3,5 mA.

**542.3.8 MOD (3.18.3.8)** Sambungan dan hubungan antara konduktor pembumian utama, konduktor pembumian, dan semua cabangnya satu sama lain harus dilaksanakan demikian sehingga terjaminlah hubungan listrik yang baik, dapat diandalkan dan tahan lama.

**CATATAN** Sambungan dan hubungan yang dibolehkan adalah sambungan dan hubungan yang menggunakan las, baut, klem dan juga sambungan selongsong jika menggunakan konduktor pilin. Sambungan dan hubungan dengan baut harus dilindungi dari kemungkinan terjadinya korosi.

#### **542.4 Terminal pembumian utama**

**542.4.1** Pada setiap instalasi jika digunakan ikatan ekuipotensial proteksi, suatu terminal pembumian utama harus disediakan dan yang berikut harus dihubungkan padanya:

- konduktor ikatan proteksi;
- konduktor pembumian;
- konduktor proteksi;
- konduktor pembumian fungsional, jika relevan.

**CATATAN 1** Setiap konduktor proteksi individu tidak dimaksudkan dihubungkan secara langsung ke terminal pembumian utama jika masing-masing dihubungkan ke terminal ini oleh konduktor proteksi lain.

**CATATAN 2** Terminal pembumian utama gedung umumnya dapat digunakan untuk keperluan pembumian fungsional. Untuk keperluan teknologi informasi, maka dapat dianggap sebagai titik hubung ke jaringan elektrode bumi.

Jika disediakan lebih dari satu terminal pembumian, maka harus diinterkoneksi.

**542.4.2** Masing-masing konduktor yang dihubungkan ke terminal pembumian utama harus dapat didiskoneksi secara individu. Hubungan ini harus andal dan hanya dapat didiskoneksi dengan sarana perkakas.

**CATATAN** Sarana diskoneksi boleh digabungkan dengan baik dengan terminal pembumian utama, untuk memungkinkan pengukuran resistans dari susunan pembumian.

#### **543 Konduktor proteksi**

**CATATAN** Sebaiknya dipertimbangkan persyaratan yang diberikan dalam Ayat 516 Bagian 5-51.

##### **543.1 Luas penampang minimum**

**543.1.1 MOD** Luas penampang setiap konduktor proteksi harus memenuhi kondisi untuk diskoneksi otomatis suplai yang disyaratkan dalam 411.3.2 Bagian 4-41 dan mampu menahan stres mekanis dan termal yang disebabkan oleh arus gangguan prospektif selama waktu diskoneksi gawai proteksi.



Luas penampang konduktor proteksi harus dihitung sesuai dengan 543.1.2 atau dipilih sesuai dengan Tabel 54.4. Pada kedua hal tersebut, persyaratan 543.1.3 harus diperhitungkan.

Terminal untuk konduktor proteksi harus mampu menerima konduktor dengan dimensi yang disyaratkan oleh subayat ini.

Pada sistem TT, jika elektrode bumi sistem suplai dan BKT secara listrik independen (lihat 312.2.2), luas penampang konduktor proteksi tidak perlu melebihi:

- 25 mm<sup>2</sup> tembaga,
- 35 mm<sup>2</sup> aluminium.

**Tabel 54.4 MOD – Luas penampang minimum konduktor proteksi  
(jika tidak dihitung sesuai dengan 543.1.2)**

Luas penampang konduktor lin, S  mm <sup>2</sup> Cu	Luas penampang minimum konduktor proteksi terkait mm <sup>2</sup> Cu	
	Jika konduktor proteksi berbahan sama seperti konduktor lin	Jika konduktor proteksi tidak berbahan sama seperti konduktor lin
$S \leq 16$	S	$k_1/k_2 \times S$
$16 < S \leq 35$	16	$k_1/k_2 \times 16$
$S > 35$	$S/2$	$k_1/k_2 \times S/2$
dengan $k_1$ adalah nilai $k$ untuk konduktor lin yang diturunkan dari rumus dalam Lampiran A atau dipilih dari tabel dalam Bagian 4-43, menurut bahan konduktor dan insulasi; $k_2$ adalah nilai $k$ untuk konduktor proteksi, dipilih dari Tabel A.54.2 hingga A.54.6 yang dapat diterapkan.		

**543.1.2** Luas penampang konduktor proteksi tidak boleh kurang dari nilai yang ditentukan:

- sesuai dengan IEC 60949;
- atau dengan rumus berikut yang hanya dapat diterapkan untuk waktu diskoneksi tidak melampaui 5 detik:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k}$$

dengan

$S$  adalah luas penampang, dalam mm<sup>2</sup>.

$I$  adalah nilai efektif arus gangguan propektif dalam ampere untuk gangguan dengan impedans yang dapat diabaikan, yang dapat mengalir melalui gawai proteksi (lihat IEC 60909-0);

$t$  adalah waktu operasi gawai proteksi untuk diskoneksi otomatis dalam detik;

$k$  adalah faktor yang tergantung pada bahan konduktor proteksi, insulasi dan bagian lain serta suhu awal dan akhir (untuk penghitungan  $k$ , lihat Lampiran A).

Jika penerapan rumus menghasilkan ukuran nonstandar, harus digunakan konduktor dengan sedikitnya luas penampang standar terbesar yang terdekat.

**CATATAN 1** Efek pembatasan arus dari impedans sirkit dan pembatasan  $I^2 t$  dari gawai proteksi sebaiknya diperhitungkan.



**CATATAN 2** Untuk pembatasan suhu untuk instalasi berpotensi atmosfer ledak, lihat IEC 60079-0.

**CATATAN 3** Karena selubung logam kabel berinsulasi mineral menurut IEC 60702-1 mempunyai kapasitas gangguan bumi lebih besar dari konduktor lin, maka tidak perlu menghitung luas penampang selubung logam jika digunakan sebagai konduktor proteksi.

**543.1.3** Luas penampang setiap konduktor proteksi yang tidak membentuk bagian kabel atau tidak pada selungkup yang sama dengan konduktor lin tidak boleh kurang dari:

- 2,5 mm<sup>2</sup> Cu atau 16 mm<sup>2</sup> Al jika disediakan proteksi terhadap kerusakan mekanis,
- 4 mm<sup>2</sup> Cu atau 16 mm<sup>2</sup> Al jika tidak disediakan proteksi terhadap kerusakan mekanis.

**CATATAN** Penggunaan baja untuk konduktor proteksi tidak dikecualikan (lihat 543.1.2).

Konduktor proteksi yang tidak membentuk bagian kabel dianggap sebagai diproteksi mekanis jika dipasang dalam conduit, berumbung atau diproteksi dengan cara serupa.

**543.1.4** Jika konduktor proteksi digunakan bersama pada dua sirkuit atau lebih, luas penampangnya harus:

- dihitung sesuai 543.1.2 untuk arus gangguan prospektif dan waktu operasi paling berat yang ditemui pada sirkuit ini; atau
- dipilih menurut Tabel 54.2 sedemikian sehingga berkaitan dengan luas penampang konduktor lin terbesar dari sirkuit.

## **543.2 Jenis konduktor proteksi**

**543.2.1** Konduktor proteksi dapat terdiri atas salah satu atau lebih berikut ini:

- konduktor pada kabel multiinti;
- konduktor berinsulasi atau telanjang dalam selungkup bersama dengan konduktor aktif;
- konduktor telanjang atau berinsulasi terpasang magun;
- selubung kabel logam, skrin kabel, perisai kabel, anyaman kawat, konduktor konsentris, conduit logam yang terkena kondisi yang dinyatakan dalam 543.2.2 a) dan b).

**CATATAN** Lihat 543.8 untuk susunannya.

**543.2.2** Jika instalasi terdiri atas perlengkapan yang mempunyai selungkup logam sedemikian seperti rakitan PPK (perangkat penyakelaran dan kendali) voltase rendah (lihat IEC 61439-1 dan IEC 61439-2) atau sistem berumbung (*trunking*) busbar, selungkup atau rangka logam dapat digunakan sebagai konduktor proteksi jika secara simultan memenuhi tiga persyaratan berikut:

- a) kontinuitas listriknya harus dipastikan dengan konstruksi atau dengan hubungan yang sesuai sedemikian untuk memastikan proteksi terhadap pemburukan mekanis, kimia atau elektrokimia;
- b) selungkup memenuhi persyaratan 543.1;
- c) selungkup harus memungkinkan hubungan konduktor proteksi lain pada setiap titik sadapan (*tap-off*) yang ditentukan sebelumnya.

**543.2.3** Bagian logam berikut tidak diizinkan untuk digunakan sebagai konduktor proteksi atau sebagai konduktor ikatan proteksi:

- pipa air logam;
- pipa yang mengandung bahan yang berpotensi mudah terbakar, seperti gas, cairan, bubuk;

**CATATAN 1** Untuk proteksi katodik, lihat 542.2.6.



- bagian konstruksi yang terkena stres mekanis dalam layanan normal;
- konduit logam fleksibel atau pliabel, kecuali didesain untuk keperluan itu;
- bagian logam fleksibel;
- kawat penyangga; rak kabel dan tangga kabel.

**CATATAN 2** Contoh konduktor proteksi mencakup konduktor ikatan proteksi, konduktor pembumian proteksi dan konduktor pembumian ketika digunakan untuk proteksi terhadap kejut listrik.

### 543.3 Kontinuitas listrik konduktor proteksi

**543.3.1** Konduktor proteksi harus diproteksi yang sesuai terhadap kerusakan mekanis, pemburukan kimia atau elektrokimia, gaya elektrodinamika dan gaya termodinamika.

Setiap hubungan (misalnya hubungan sekrup, konektor klem) antara konduktor proteksi serta antara konduktor proteksi dan perlengkapan lain harus memberikan kontinuitas listrik tahan lama serta kuat dan proteksi mekanis yang memadai. Sekrup untuk menghubungkan konduktor proteksi tidak boleh melayani sembarang keperluan lain.

Sambungan tidak boleh dibuat dengan solder.

**CATATAN** Semua hubungan listrik sebaiknya mempunyai kapasitas termal dan kuat mekanis yang memuaskan untuk menahan setiap kombinasi arus/waktu yang dapat terjadi pada konduktor atau pada kabel/selungkup dengan luas penampang terbesar.

**543.3.2** Sambungan pada konduktor proteksi harus dapat diakses untuk inspeksi dan pengujian, kecuali untuk:

- sambungan berisi kompon,
- sambungan kapsul,
- sambungan pada sistem konduit, talang dan berumbung busbar logam,
- sambungan yang membentuk bagian perlengkapan, yang memenuhi standar perlengkapan,
- sambungan yang dibuat dengan las atau las kuningan (brazing),
- sambungan yang dibuat dengan perkakas kompresi.

**543.3.3** Gawai sakelar tidak boleh disisipkan pada konduktor proteksi, tapi dapat disediakan sambungan yang dapat didiskoneksi untuk keperluan pengujian dengan penggunaan perkakas.

**543.3.4** Jika digunakan pemantauan listrik pembumian, gawai seperti sensor operasi, kumparan, transformator arus tidak boleh dihubungkan secara seri pada konduktor proteksi.

**543.3.5** BKT apparatus tidak boleh digunakan untuk membentuk bagian konduktor proteksi untuk perlengkapan lain, kecuali seperti diizinkan pada 543.2.2.

**543.4 MOD** Tidak diterapkan.

### 543.5 MOD Konduktor pembumian proteksi dan fungsional gabungan

Jika digunakan konduktor pembumian proteksi dan fungsional gabungan, maka harus memenuhi persyaratan untuk konduktor proteksi. Sebagai tambahan, juga harus memenuhi persyaratan fungsional relevan (lihat Ayat 444 Bagian 4-44).

**CATATAN** Sesuai 7.5.3.2 SNI IEC 61140, penggunaan setiap konduktor aktif, bersama-sama konduktor proteksi sebagai jalur kembali untuk sinyal, tidak diizinkan pada instalasi listrik gedung.



### 543.6 Arus pada konduktor pembumian proteksi

Konduktor pembumian proteksi sebaiknya tidak digunakan sebagai jalur konduktif untuk arus pada kondisi operasi normal (misalnya hubungan filter untuk alasan EMC), lihat juga SNI IEC 61140. Jika arus melebihi 10 mA pada kondisi operasi normal, harus digunakan konduktor proteksi diperkuat (lihat 543.7).

**CATATAN** Arus bocor kapasitif, misalnya karena kabel atau motor, sebaiknya dikurangi dengan desain instalasi dan perlengkapan.

### 543.7 MOD Konduktor proteksi diperkuat untuk arus konduktor proteksi melebihi 10 mA

Untuk pemanfaat listrik yang dimaksudkan untuk hubungan permanen dan dengan arus konduktor proteksi melebihi 10 mA, konduktor proteksi diperkuat harus didesain sebagai berikut:

- jika pemanfaat listrik hanya mempunyai satu terminal pembumian proteksi, konduktor pembumian proteksi harus mempunyai luas penampang sedikitnya 10 mm<sup>2</sup> Cu atau 16 mm<sup>2</sup> Al, sepanjang jalur totalnya;
- jika pemanfaat listrik mempunyai terminal terpisah untuk konduktor pembumian proteksi kedua, konduktor pembumian proteksi kedua dengan luas penampang sedikitnya sama seperti disyaratkan untuk proteksi gangguan, harus digelar pada titik dimana konduktor pembumian proteksi mempunyai luas penampang tidak kurang dari 10 mm<sup>2</sup> Cu atau 16 mm<sup>2</sup> Al.

**CATATAN** Pemanfaat listrik yang biasanya mempunyai arus konduktor proteksi yang tinggi tidak kompatibel dengan instalasi yang dilengkapi GPAS.

### 543.8 Susunan konduktor proteksi

Jika GPAL digunakan untuk proteksi terhadap kejut listrik, konduktor proteksi harus tergabung pada sistem perkawatan yang sama dengan konduktor aktif atau terletak sedekat mungkin dengan konduktor aktif tersebut.

## 544 Konduktor ikatan proteksi

### 544.1 Konduktor ikatan proteksi untuk hubungan ke terminal pembumian utama

Luas penampang konduktor ikatan proteksi yang disediakan untuk terminal pembumian utama harus mempunyai luas penampang tidak kurang dari setengah luas penampang konduktor pembumian proteksi terbesar di dalam instalasi dan tidak kurang dari:

- 6 mm<sup>2</sup> tembaga; atau
- 16 mm<sup>2</sup> aluminium; atau
- 50 mm<sup>2</sup> baja.

Luas penampang konduktor ikatan proteksi untuk hubungan ke terminal pembumian utama tidak perlu melebihi 25 mm<sup>2</sup> Cu atau ekuivalen untuk bahan lain.

### 544.2 Konduktor ikatan proteksi untuk ikatan suplemen

**544.2.1** Konduktor ikatan proteksi yang menghubungkan dua BKT harus mempunyai konduktans tidak kurang dari konduktor proteksi terkecil yang terhubung ke BKT tersebut.



**544.2.2** Konduktor ikatan proteksi yang menghubungkan BKT ke BKE harus mempunyai konduktans tidak kurang dari setengah luas penampang konduktor proteksi yang bersangkutan.

**544.2.3** Luas penampang minimum konduktor ikatan proteksi untuk ikatan suplemen, dan luas penampang konduktor ikatan antara dua BKE, harus sesuai dengan 543.1.3.





## Lampiran A (normatif)

### Metode untuk mendapatkan faktor $k$ dalam 543.1.2 (lihat juga IEC 60724 dan IEC 60949)

Faktor  $k$  ditentukan dari rumus berikut:

$$k = \sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20)}{\rho_{20}} \ln \left( \frac{\beta + \theta_f}{\beta + \theta_i} \right)}$$

dengan:

- $Q_c$  adalah kapasitas bahang volumetrik bahan konduktor (J/K.mm<sup>3</sup>) pada 20 °C;  
 $\beta$  adalah kebalikan koefisien suhu dari resistivitas pada 0 °C untuk konduktor (°C);  
 $\rho_{20}$  adalah resistivitas listrik bahan konduktor pada 20 °C (Ω.mm);  
 $\theta_i$  adalah suhu awal konduktor (°C),  
 $\theta_f$  adalah suhu akhir konduktor (°C).

**Tabel A.54.1 – Nilai parameter untuk berbagai bahan yang berbeda**

Bahan	$\beta^a$ °C	$Q_c^a$ J/°Cmm <sup>3</sup>	$\rho_{20}^a$ Ω.mm	$\sqrt{\frac{Q_c (\beta + 20)}{\rho_{20}}}$ A√s/mm <sup>2</sup>
Tembaga	234,5	$3,45 \times 10^{-3}$	$17,241 \times 10^{-6}$	226
Aluminium	228	$2,5 \times 10^{-3}$	$28,264 \times 10^{-6}$	148
Baja	202	$3,8 \times 10^{-3}$	$138 \times 10^{-6}$	78
<sup>a</sup> Nilai diambil dari IEC 60949.				



**Tabel A.54.2 – Nilai  $k$  untuk konduktor proteksi berinsulasi yang tidak tergabung dengan kabel-kabel dan tidak dibundel dengan kabel-kabel lain**

Insulasi konduktor	Suhu °C <sup>b</sup>		Bahan konduktor <sup>c</sup>		
			Tembaga	Aluminium	Baja
	Awal	Akhir	Nilai untuk $k$ <sup>c</sup>		
70 °C termoplastik (PVC)	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C termoplastik (PVC)	30	160/140 <sup>a</sup>	143/133 <sup>a</sup>	95/88 <sup>a</sup>	52/49 <sup>a</sup>
90 °C termoseting (misalnya XLPE dan EPR)	30	250	176	116	64
60 °C termoseting (karet EPR)	30	200	159	105	58
85 °C termoseting (karet EPR)	30	220	166	110	60
185 °C termoseting (karet silikon)	30	350	201	133	73

<sup>a</sup> Nilai lebih rendah berlaku untuk konduktor berinsulasi termoplastik (misalnya PVC) dengan luas penampang lebih besar dari 300 mm<sup>2</sup>.

<sup>b</sup> Batas suhu untuk berbagai jenis insulasi diberikan dalam IEC 60724.

<sup>c</sup> Untuk metode penghitungan  $k$ , lihat rumus di awal Lampiran ini.

**Tabel A.54.3 – Nilai  $k$  untuk konduktor proteksi telanjang yang kontak dengan penutup kabel tetapi tidak dibundel dengan kabel lain**

Penutup kabel	Suhu °C <sup>a</sup>		Bahan konduktor		
			Tembaga	Aluminium	Baja
	Awal	Akhir	Nilai untuk $k$ <sup>b</sup>		
Termoplastik (PVC)	30	200	159	105	58
Poliethilen	30	150	138	91	50
CSP <sup>c</sup>	30	220	166	110	60

<sup>a</sup> Batas suhu untuk berbagai tipe insulasi diberikan dalam IEC 60724.

<sup>b</sup> Untuk metode penghitungan  $k$ , lihat rumus di awal Lampiran ini.

<sup>c</sup> CSP = *Chloro-Sulphonated Polyethylene*.



**Tabel A.54.4 – Nilai  $k$  untuk konduktor proteksi sebagai inti yang tergabung dengan suatu kabel atau dibundel dengan kabel-kabel lain atau konduktor-konduktor berinsulasi**

Insulasi konduktor	Suhu °C <sup>b</sup>		Bahan konduktor		
	Awal	Akhir	Tembaga	Aluminium	Baja
			Nilai untuk $k$ <sup>c</sup>		
70 °C termoplastik (PVC)	70	160/140 <sup>a</sup>	115/103 <sup>a</sup>	76/68 <sup>a</sup>	42/37 <sup>a</sup>
90 °C termoplastik (PVC)	90	160/140 <sup>a</sup>	100/86 <sup>a</sup>	66/57 <sup>a</sup>	36/31 <sup>a</sup>
90 °C termoseting (misalnya XLPE dan EPR)	90	250	143	94	52
60 °C termoseting (karet)	60	200	141	93	51
85 °C termoseting (karet)	85	220	134	89	48
185 °C termoseting (karet silikon)	180	350	132	87	47
<sup>a</sup> Nilai lebih rendah berlaku untuk konduktor berinsulasi termoplastik (misalnya PVC) dengan luas penampang lebih besar dari 300 mm <sup>2</sup> . <sup>b</sup> Batas suhu untuk berbagai tipe insulasi diberikan dalam IEC 60724. <sup>c</sup> Untuk metode penghitungan $k$ , lihat rumus di awal Lampiran ini.					



**Tabel A.54.5 – Nilai  $k$  untuk konduktor proteksi sebagai lapisan logam suatu kabel misalnya armor, selubung logam, konduktor konsentris dsb.**

Insulasi kabel	Suhu °C <sup>a</sup>		Bahan konduktor		
	Awal	Akhir	Tembaga	Aluminium	Baja
			Nilai untuk $k$ <sup>c</sup>		
70 °C termoplastik (PVC)	60	200	141	93	51
90 °C termoplastik (PVC)	80	200	128	85	46
90 °C termoseting (misalnya XLPE dan EPR)	80	200	128	85	46
60 °C termoseting (karet EPR)	55	200	144	95	52
85 °C termoseting (karet)	75	220	140	93	51
Mineral ditutup termoplastik (PVC)	70	200	135	–	–
Mineral selubung telanjang	105	250	135	–	–

<sup>a</sup> Batas suhu untuk berbagai jenis insulasi diberikan dalam IEC 60724.  
<sup>b</sup> Nilai ini juga harus digunakan untuk konduktor telanjang yang terkena sentuh atau kontak dengan bahan yang mudah terbakar.  
<sup>c</sup> Untuk metode penghitungan  $k$ , lihat rumus di awal Lampiran ini.

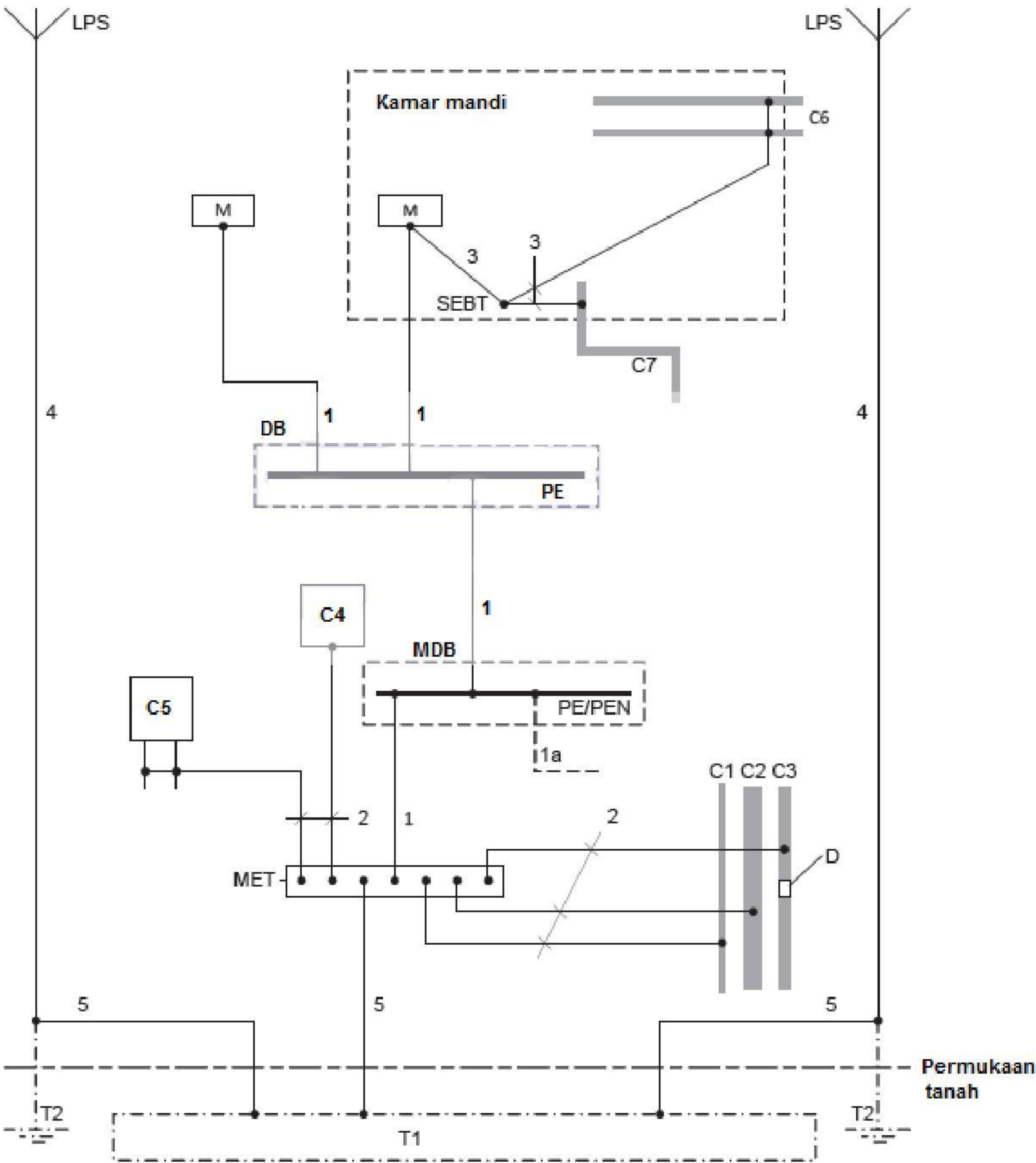
**Tabel A.54.6 – Nilai  $k$  untuk konduktor telanjang tanpa risiko kerusakan pada sembarang bahan di dekatnya dengan suhu yang ditunjukkan**

Kondisi	Suhu awal °C	Bahan konduktor					
		Tembaga		Aluminium		Baja	
		Suhu maksimum (suhu akhir) °C	Nilai $k$	Suhu maksimum (suhu akhir) °C	Nilai $k$	Suhu maksimum (suhu akhir) °C	Nilai $k$
Terlihat dan dalam area terlarang	30	500	228	300	125	500	82
Kondisi normal	30	200	159	200	105	200	58
Risiko kebakaran	30	150	138	150	91	150	50



Lampiran B  
(informatif)

Contoh susunan pbumian dan konduktor proteksi





Simbol	Nama	Keterangan
C	Bagian konduktif ekstra	
C1	Pipa air, logam dari bagian luar	Atau pipa pemanas
C2	Pipa air limbah, logam dari bagian luar	
C3	Pipa gas dengan sisipan insulasi, logam dari bagian luar	
C4	Pengondisi udara	
C5	Sistem pemanas	
C6	Pipa air, logam misalnya dalam kamar mandi	Lihat 701.415.2 IEC 60364-7-701:2006
C7	Pipa air limbah, logam misalnya dalam kamar mandi	Lihat 701.415.2 IEC 60364-7-701:2006
D	Sisipan insulasi	
MDB	Panel distribusi utama	
DB	Panel distribusi	Disuplai dari panel distribusi utama
MET	Terminal pembumian utama	Lihat 542.4
SEBT	Terminal ikatan ekuipotensial suplemen	
T1	Elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton atau elektrode bumi fondasi dipendam dalam tanah	Lihat 542.2
T2	Elektrode bumi untuk sistem proteksi petir, jika perlu	Lihat 542.2
LPS	Sistem proteksi petir (jika ada)	
PE	Terminal PE pada panel distribusi	
PE/PEN	Terminal PE/PEN pada panel distribusi utama	
M	Bagian konduktif terbuka	
1	Konduktor pembumian proteksi (PE)	Lihat Ayat 543 Luas penampang lihat 543.1 Jenis konduktor proteksi lihat 543.2 Kontinuitas listrik lihat 545.3
1a	Konduktor proteksi, atau konduktor PEN, jika ada, dari jaringan penyuplai	
2	Konduktor ikatan proteksi untuk hubungan ke terminal pembumian utama	Lihat 544.1
3	Konduktor ikatan proteksi untuk ikatan suplemen	Lihat 544.2
4	Konduktor turun sistem proteksi petir jika ada	
5	Konduktor pembumian	Lihat 542.3

Jika dipasang sistem proteksi petir, persyaratan tambahan diberikan dalam Ayat 6 IEC 62305-3:2006, terutama yang diberikan dalam 6.1 dan 6.2.

**CATATAN** Konduktor pembumian fungsional tidak diperlihatkan dalam Gambar B.54.1

**Gambar B.54.1 – Contoh susunan pembumian untuk elektrode bumi fondasi, konduktor proteksi dan konduktor ikatan proteksi**



## Lampiran C (informatif)

### Pemasangan elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton

#### C.1 Umum

Beton yang digunakan untuk fondasi gedung punya konduktivitas tertentu dan pada umumnya punya luas kontak dengan tanah yang luas. Karena itu elektrode logam telanjang yang dipendam seluruhnya dalam beton dapat digunakan untuk keperluan pembumian, kecuali beton tersebut diisolasi dari tanah dengan menggunakan insulasi termal khusus atau tindakan lain. Karena efek fisika dan kimia, baja telanjang atau digalvanis celup panas dan bahan lain yang dipendam dalam beton sedalam lebih dari 5 cm sangat diproteksi terhadap korosi, biasanya untuk selama hidup gedung tersebut. Dimana mungkin, efek konduktif dari perkuatan gedung sebaiknya juga digunakan.

Pembuatan elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton selama pembangunan gedung, dapat menjadi solusi ekonomis untuk memperoleh elektrode bumi yang baik jangka panjang, karena

- tidak memerlukan pekerjaan penggalian tambahan,
- dipasang pada kedalaman yang biasanya bebas dari pengaruh negatif yang ditimbulkan dari kondisi cuaca musim,
- memberikan kontak yang baik dengan tanah,
- praktis meliputi seluruh permukaan fondasi gedung dan menghasilkan impedans elektrode bumi minimum yang dapat diperoleh dengan permukaan tersebut,
- memberikan susunan pembumian optimal untuk keperluan sistem proteksi petir, dan
- sejak awal pembangunan gedung, dapat digunakan sebagai elektrode bumi untuk instalasi listrik di lokasi konstruksi.

Disamping efek pembumiannya, elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton memberikan dasar yang bagus untuk ikatan proteksi utama.

Berlaku persyaratan dan saran untuk pemasangan elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton berikut.

#### C.2 Pertimbangan lain mengenai penggunaan elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton

Jika fondasi gedung diproteksi seluruhnya terhadap susut energi bahang dengan menginsulasinya memakai bahan nonkonduktif, atau jika fondasi menggunakan tindakan insulasi tertentu terhadap air, misalnya dengan menggunakan lembaran plastik dengan tebal lebih dari 0,5 mm, pembumian dengan menggunakan beton fondasi tidak bagus. Dalam kasus tersebut, efek positif perkuatan logam untuk ikatan proteksi dapat digunakan, dan untuk keperluan pembumian sebaiknya digunakan susunan pembumian lain, misalnya elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton tambahan di bawah fondasi terisolasi, atau susunan pembumian di sekeliling gedung atau elektrode bumi fondasi dipendam dalam tanah.



### C.3 Konstruksi elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton

**C.3.1** Untuk fondasi beton tanpa perkuatan logam, elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton harus dikoordinasikan dengan jenis dan dimensi fondasi. Lebih disukai, satu atau lebih cincin atau persegi tertutup dengan dimensi sampai dengan 20 m dan saling terhubung.

**C.3.2** Untuk menghindari pemendaman elektrode dalam beton kurang dari kedalaman 5 cm, sebaiknya digunakan sarana yang sesuai untuk memberi jarak perkawatan elektrode di atas tanah. Jika digunakan bilah (*strip*) sebagai elektrode, sebaiknya dimagun pada sisi untuk menghindari lubang tanpa beton di bawah bilah. Bila ada perkuatan, sebaiknya perkawatan dimagun pada bilah pada interval tidak lebih dari 2 m. Sebaiknya hubungan dibuat sesuai dengan 542.3.2. Penggunaan sambungan dikunci sebaiknya dihindari.

**C.3.3** Perkawatan elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton sebaiknya punya sedikitnya satu sepatu (*lug*) terminal untuk hubungan ke sistem listrik gedung, baik keluar dari beton di dalam gedung ke titik hubungan yang cocok (misalnya ke terminal pembumian utama) atau berakhir pada klem hubungan khusus yang terpendam dalam beton dinding pada permukaannya. Pada titik hubungan, sepatu terminal harus dapat diakses untuk keperluan pemeliharaan dan pengukuran.

Untuk proteksi petir dan untuk gedung dengan persyaratan khusus terkait teknologi informasi, mungkin diperlukan lebih dari satu sepatu terminal elektrode bumi fondasi, misalnya untuk konduktor turun sistem proteksi petir.

Untuk hubungan yang dibutuhkan bagian luar beton fondasi ke dalam tanah, masalah korosi untuk kawat baja perlu diperhitungkan (lihat Ayat C.4). Untuk hubungan tersebut, direkomendasikan bahwa sebaiknya masuk ke beton di dalam gedung, atau di bagian luar pada level yang cocok di atas level tanah.

**C.3.4** Untuk luas penampang elektrode minimum, termasuk sepatu terminal, berlaku nilai yang disebutkan dalam Tabel 54.1. Hubungan harus dibuat kencang dan memenuhi secara listrik (lihat 542.3.2).

**C.3.5** Perkuatan logam fondasi gedung dapat digunakan sebagai elektrode asalkan dihubungkan dengan kencang menurut 542.3.2. Untuk hubungan dilas, disyaratkan izin personel yang bertanggung jawab untuk desain struktur dan analisis konstruksi gedung. Hubungan yang dibuat hanya dengan mengikatkan kawat besi saja, tidak cocok untuk keperluan proteksi, tapi mungkin memadai untuk keperluan KEM/EMC untuk teknologi informasi. Perkuatan prastres tidak boleh digunakan sebagai elektrode.

Jika grid yang dilas dibuat dari kawat dengan diameter yang lebih kecil digunakan untuk perkuatan, hal ini dimungkinkan untuk menggunakannya sebagai elektrode asalkan dihubungkan dengan kencang pada lebih dari satu titik yang berbeda ke sepatu terminal atau bagian lain elektrode untuk memberikan sedikitnya luas penampang yang sama sebagaimana disyaratkan dalam Tabel 54.1. Diameter minimum kawat tunggal dari grid tersebut sebaiknya 5 mm dengan sedikitnya empat hubungan antara sepatu terminal dan grid pada beberapa titik setiap grid.

**C.3.6** Perkawatan elektrode sebaiknya tidak melampaui sambungan antara bagian yang berbeda dari fondasi yang lebih besar. Pada tempat tersebut, konektor yang lunak (*malleable*) yang sesuai sebaiknya dipasang di bagian luar beton untuk memberikan hubungan listrik yang diperlukan.



**C.3.7** Elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton dari fondasi tunggal (misalnya untuk konstruksi aula yang luas) sebaiknya dihubungkan ke bagian lain elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton dengan menggunakan konduktor pembedaan yang cocok. Untuk memendam hubungan tersebut dalam tanah, lihat Ayat C.4.

**C.4 Masalah korosi yang mungkin untuk instalasi dibumikan lain di luar elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton**

Perlu diperhatikan fakta bahwa baja biasa (telanjang atau digalvanis celup panas) yang dipendam dalam beton menghasilkan potensial elektrokimia sama dengan tembaga yang dipendam dalam tanah. Konsekuensinya, ada bahaya korosi elektrokimia yang terjadi pada susunan pembedaan lain yang dibuat dari baja yang dipendam dalam tanah di dekat fondasi dan berada dalam hubungan dengan elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton. Efek ini juga dapat ditemukan dengan fondasi diperkuat dari gedung besar.

Sembarang elektrode baja tidak boleh dipasang langsung dari beton fondasi ke dalam tanah kecuali untuk elektrode yang dibuat dari baja antikarat atau diproteksi dengan baik dengan proteksi prefabrikasi yang sesuai terhadap kelembaban. Penutupan dengan digalvanis celup panas atau proteksi dengan pengecatan atau bahan sejenis lain selanjutnya tidak memadai untuk keperluan tersebut. Susunan pembedaan tambahan di sekeliling atau di dekat gedung sebaiknya dibuat dari selain baja yang digalvanis celup panas sedemikian sehingga memberikan umur yang memadai untuk bagian susunan pembedaan ini.

**C.5 Penyelesaian elektrode bumi fondasi dipendam dalam beton**

**C.5.1** Sesudah menyiapkan elektrode dan/atau perkuatan yang dihubungkan, tapi sebelum beton dituang, rekaman survei dan dokumentasi susunan sebaiknya dibuat oleh personel terampil. Dokumentasi sebaiknya berisi uraian, rencana dan foto dan sebaiknya membentuk bagian dokumentasi menyeluruh untuk instalasi listrik (lihat Bagian 6).

**C.5.2** Beton yang digunakan untuk fondasi sebaiknya dibuat dari sedikitnya 240 kg semen per m<sup>3</sup> beton. Beton harus punya konsistensi semicairan yang sesuai untuk mengisi semua lubang di bawah elektrode.



## Lampiran D (informatif)

### Pemasangan elektode bumi dipendam dalam tanah

#### D.1 Umum

Resistans elektode bumi tergantung pada dimensinya, bentuknya dan pada resistivitas tanah dimana elektode tersebut dipendam. Resistivitas ini sering bervariasi dari satu tempat ke tempat lain dan sesuai dengan kedalamannya.

Resistivitas tanah dinyatakan dalam  $\Omega\text{m}$ : secara angka, adalah resistans dalam  $\Omega$  dari silinder tanah dengan luas penampang  $1\text{ m}^2$  dan panjang  $1\text{ m}$ .

Aspek permukaan dan tumbuhan dapat memberi beberapa indikasi kurang lebih karakteristik yang menguntungkan dari tanah untuk implementasi elektode bumi. Bila tersedia hasil pengukuran pada elektode bumi yang dipasang dalam tanah sejenis akan memberikan indikasi yang lebih baik.

Resistivitas tanah tergantung pada kelembaban dan pada suhunya, keduanya bervariasi sepanjang tahun. Kelembaban dipengaruhi oleh butiran tanah dan porositasnya. Dalam praktik, resistivitas tanah bertambah bila kelembaban berkurang.

Lapisan tanah dimana aliran air dapat melintas, seperti ditemukan di dekat sungai, jarang sesuai untuk implementasi elektode bumi. Dalam kenyataan, lapisan ini dibentuk oleh tanah berbatu, sangat *permeable* dan dengan mudah menjadi becek oleh air itu sendiri yang dimurnikan oleh penyaringan alami dan menghasilkan resistivitas yang tinggi. Batang yang dalam sebaiknya ditancapkan agar mencapai tanah yang lebih dalam yang dapat punya konduktivitas lebih baik.

Pembekuan dipertimbangkan menambah resistivitas tanah, yang dapat mencapai beberapa ribu  $\Omega\text{m}$  dalam lapisan yang membeku. Di beberapa area, ketebalan lapisan beku ini dapat  $1\text{ m}$  atau lebih.

Kekeringan juga menambah resistivitas. Efek kemarau dapat ditemukan di beberapa area sampai dengan kedalaman  $2\text{ m}$ . Nilai resistivitas dalam situasi tersebut dapat menjadi besaran yang sama dengan yang terjadi selama waktu pembekuan.

#### D.2 Resistivitas tanah

Tabel D.54.1 memberikan informasi nilai resistivitas untuk jenis tanah tertentu.

Tabel D.54.2 menunjukkan bahwa resistivitas dapat bervariasi dalam proporsi besar, untuk jenis tanah yang sama.



Tabel D.54.1 – Resistivitas untuk jenis tanah

Sifat tanah	Resistivitas $\Omega\text{m}$
Tanah rawa ( <i>marshy ground</i> ) Aluvium Humus Gambut lembab ( <i>damp peat</i> )	Dari beberapa unit hingga 30 20 hingga 100 10 hingga 150 5 hingga 100
Tanah liat lunak ( <i>malleable clay</i> ) Tanah liat bahan semen dan padat ( <i>marl and compact clay</i> ) <i>Jurassic marl</i>	50 100 hingga 200 30 hingga 40
Pasir mengandung tanah liat ( <i>clayey sand</i> ) Pasir mengandung kerikil ( <i>siliceous sand</i> ) Tanah berbatu ( <i>bare stony soil</i> ) Tanah berbatu ditutupi rumput ( <i>stony soil covered with lawn</i> )	50 hingga 500 200 hingga 3 000 1 500 hingga 3 000 300 hingga 500
<i>Soft limestone</i> <i>Compact limestone</i> <i>Cracked limestone</i> Batu tulis Batu tulis mika	100 hingga 300 1 000 hingga 5 000 500 hingga 1 000 50 hingga 300 800
Granit dan batupasir menurut cuaca Granit dan batupasir yang sangat berubah	1 500 hingga 10 000 100 hingga 600

Untuk mendapatkan pendekatan pertama resistans elektrode bumi, dapat dibuat perhitungan, dengan menggunakan nilai rerata yang ditunjukkan dalam Tabel D.54.2.

Tampak bahwa perhitungan yang dibuat dari nilai ini hanya memberikan hasil pendekatan dari resistans elektrode bumi. Sesudah menggunakan rumus yang diberikan dalam Ayat D.3, pengukuran resistans ini dapat memungkinkan estimasi nilai resistivitas rerata tanah. Pengetahuan tersebut dapat bermanfaat untuk kerja selanjutnya yang dilakukan dalam kondisi serupa.

Tabel D.54.2 – Variasi resistivitas untuk jenis tanah berbeda

Sifat tanah	Nilai resistivitas rerata $\Omega\text{m}$
Tanah yang dapat ditanami, tanggul padat yang basah Tanah tak dapat ditanami, kerikil, tanggul kasar Tanah berbatu telanjang, pasir kering, batu yang tak dapat menyerap	50 500 3 000

### D.3 Elektrode bumi dipendam dalam tanah

#### D.3.1 Bagian pokok

Elektrode bumi dapat terdiri atas elemen yang dipendam, dari

- baja, digalvanis celup panas,
- baja berselubung tembaga,



- baja dengan lapisan tembaga *electro-deposited*,
- baja antikarat,
- tembaga telanjang.

Sambungan antara logam yang berbeda sifat tidak boleh kontak dengan tanah. Umumnya logam dan paduan lain sebaiknya tidak digunakan.

Ketebalan dan diameter minimum bagian berikut mempertimbangkan risiko pemburukan kimia dan mekanis yang biasa. Namun, dimensi ini tidak memadai dalam situasi dimana ada risiko korosi yang signifikan. Risiko tersebut dapat ditemukan dalam tanah dimana arus sasar (*stray*) bersirkulasi, misalnya arus balik a.s. dari traksi listrik atau di dekat instalasi untuk proteksi katodik. Dalam kasus tersebut, harus dilakukan tindakan pencegahan khusus.

Elektrode bumi sebaiknya dipendam, dalam bagian tanah tersedia yang paling lembab. Elektrode bumi harus diamankan dari tempat sampah dimana perembesan (*percolation*) misalnya kotoran hewan, pupuk cair, produk kimia, *coke*, dll dapat mengorosi dan dipasang sejauh mungkin dari lokasi yang sibuk.

### D.3.2 Asesmen resistans elektrode bumi

#### a) Konduktor dipendam horizontal

Resistans elektrode bumi ( $R$ ) diwujudkan dengan konduktor dipendam horizontal (lihat 542.2.3 dan Tabel 54.1), dapat didekati dari rumus :

$$R = 2 \frac{\rho}{L}$$

dimana  $\rho$  adalah resistivitas tanah (dalam  $\Omega\text{m}$ ) dan  $L$  adalah panjang parit yang digunakan oleh konduktor (dalam m).

Sebaiknya dicatat bahwa peletakan konduktor dengan lintasan berkelok dalam parit tidak signifikan meningkatkan resistans elektrode bumi.

Dalam praktik, konduktor ini diletakkan dengan dua cara berbeda:

- elektrode bumi fondasi gedung: elektrode bumi ini dibuat dari lingkaran fondasi sekeliling seluruh tepi gedung. Panjang yang dipertimbangkan adalah tepi gedung;
- parit horizontal: konduktor dipendam pada kedalaman kira-kira 1 m dalam galian parit untuk keperluan ini.

Parit sebaiknya tidak ditimbun kembali dengan batu, sisa arang atau bahan sejenis, tapi dengan tanah untuk menahan lembab.

#### b) Pelat dipendam

Untuk menjaga kontak yang baik kedua permukaan dengan tanah, lebih disukai pelat secara penuh disusun secara vertikal.

Pelat sebaiknya dipendam dengan cara sedemikian sehingga tepi atas diposisikan pada kedalaman kira-kira 1 m.



Resistans ( $R$ ) elektrode bumi pelat yang dipendam pada kedalaman yang memadai setara dengan:

$$R = 0,8 \frac{\rho}{L}$$

dimana  $\rho$  adalah resistivitas tanah (dalam  $\Omega\text{m}$ ) dan  $L$  adalah garis pinggir pelat (dalam m).

c) Elektrode dipendam vertikal

Resistans ( $R$ ) elektrode bumi dipendam vertikal (lihat 542.2.3 dan Tabel 54.1) dapat didekati dari rumus:

$$R = \frac{\rho}{L}$$

dimana  $\rho$  adalah resistivitas tanah (dalam  $\Omega\text{m}$ ) dan  $L$  adalah panjang batang atau pipa (dalam m).

Dimana ada risiko pembekuan atau kekeringan, panjang batang sebaiknya ditambah 1 atau 2 m.

Dimungkinkan untuk mengurangi nilai resistans elektrode bumi dengan memasang beberapa batang vertikal secara paralel, dipisah satu sama lain dengan jarak satu batang, dalam kasus dua batang, dan dengan jarak lebih jika ada lebih dari dua batang elektrode bumi.

Perlu diperhatikan fakta bahwa dimana batang ekstra panjang dapat dipasang, sebagaimana tanah jarang yang homogen, batang tersebut dapat mencapai lapisan tanah dengan resistivitas rendah atau dapat diabaikan.

#### D.4 Pilar logam sebagai elektrode bumi

Pilar logam yang diinterkoneksi oleh struktur logam dan dipendam pada kedalaman tertentu di dalam tanah, dapat digunakan sebagai elektrode bumi.

Resistans ( $R$ ) pilar logam yang dipendam dapat dihitung secara pendekatan dengan rumus:

$$R = 0,366 \frac{\rho}{L} \log_{10} \frac{3L}{d}$$

dimana:

$L$  adalah panjang pilar yang dipendam (dalam m);

$D$  diameter silinder yang membatasi pilar (dalam m);

$P$  adalah resistivitas tanah (dalam  $\Omega\text{m}$ ).

Set pilar yang diinterkoneksi yang terletak di sekeliling gedung punya resistans pada orde yang sama seperti elektrode bumi fondasi.

Pada akhirnya memendam beton tidak mencegah penggunaan pilar sebagai elektrode bumi dan tidak dapat dinilai memodifikasi resistans elektrode bumi.



**Lampiran E (MOD)**  
(informatif)

**Tidak diadopsi.**





## Bibliografi

IEC 60050-195:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 195: Earthing and protection against electric shock*

IEC 60050-826:2004, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 826: Electrical installations*

IEC 60079-0, *Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements*

IEC 60079-14, *Explosive atmospheres – Part 14: Electrical installations design, selection and erection*

PUIL Bagian 4-43

PUIL Bagian 5-52

PUIL Bagian 6

IEC 60364-7-701:2006, *Low-voltage electrical installations – Part 7-701: Requirements for special installations or locations – Locations containing a bath or shower*

IEC 60702-1, *Mineral insulated cables and their terminations with a rated voltage not exceeding 750 V – Part 1: Cables*

IEC 61643-12, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles*

National Standard DIN 18014:1994, *Fundamente der ("Foundation earth electrode" in English)*